Aus der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, E.V., Abteilung Flugmedizin,
Berlin-Adlershof. Leiter: Dr. med. habil. *S. Ruff*

Über die Wirkung von Schwingungen auf das vegetative Nervensystem und die Sehnenreflexe

---

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Medizinischen Doktorgrades

an der Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Berlin

vorgelegt von

Werner E. Loeckle

Ludwigshafen a. Rh.

Tag der Promotion: 10. 10. 41

1941

Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz A.G., Würzburg

M 253

Gedruckt mit Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. *Kreuz*

Referent: Dr. *Ruff*

Korreferent: Prof. *Trendelenburg*

Sonderdruck aus „Luftfahrtmedizin", 5. Band, 4. Heft, 1941
(Springer-Verlag, Berlin W 9)

I. Einleitung und Ziel der Untersuchungen.

Die zunehmende Industrialisierung und die wachsende Zahl und Bedeutung der verschiedensten Verkehrsmittel setzt den modernen Menschen in steigendem Maße der Wirkung mechanischer Erschütterungen aus. Bei Untersuchungen über den Einfluß dieser Schwingungen auf den menschlichen Organismus fand *Coermann* eine überraschende Reaktion des Zentralnervensystems, nämlich eine Beeinträchtigung des Patellarreflexes. Wurden Versuchspersonen, auf einer eigens konstruierten Schüttelplatte sitzend, der Wirkung vertikaler Schwingungen ausgesetzt, so fiel bei Überschreitung einer gewissen Schwingungsfrequenz und -amplitude der Patellarreflex aus. Bei schwacher Vibration und längerer Einwirkung zeigte sich eine langsam zunehmende Verminderung des Reflexerfolges. Eine solche Reaktion war bisher nicht bekannt geworden. Eine einzige, übrigens ungenaue Angabe in der Literatur wurde erst nach Abschluß der vorliegenden Versuche gefunden. In einer Monographie über Vibrationsmassage heißt es bei *Snow* als Zitat von „*Goltz, Lewisson*" ohne nähere Angaben: „Bei sehr starker Reizung eines afferenten Nerven findet der Reflex nicht statt."

Das Ziel der hier beschriebenen Versuche war die Aufklärung des Zusammenhanges zwischen Erschütterungseinwirkung und Reflexausfall. Es wurde zunächst versucht, auf unkomplizierte Art und in Übereinstimmung mit den bekannten Eigenschaften der Sehnenreflexe, zu denen ja der Patellarreflex zählt, dieses Verhalten zu erklären. Nach *P. Hoffmann* ist der Sehnenreflex ein Eigenreflex. d. h. eine unwillkürliche und gesetzmäßig ablaufende Reaktion eines Organs, in dem selbst der reflexauslösende Reiz erzeugt wurde. Der adäquate Reiz für einen Sehnenreflex ist die Längszerrung der in den Muskelspindeln gelegenen sensiblen Endorgane, praktisch ausgelöst durch einen Schlag auf die Muskel-Sehne-Einheit. Mit der sensiblen Nervenleitung, der Synapse als dem Reflexzentrum und der efferenten Nervenbahn, durchläuft die Erregung einen Reflexbogen bis zu den motorischen Endorganen, die eine reflektorisch verlaufende Muskelkontraktion veranlassen. Über Reflexhemmung und Reflexausfall ist bekannt, daß beides durch stärkere Tonisierung oder andererseits Erschlaffung der Reflexmuskulatur verursacht sein kann. Auch Muskelermüdung nach großen Anstrengungen soll den Reflex beeinträchtigen können *(Böhme, Monrad-Krohn, Giovannini)*. Auf dieser theoretischen Grundlage wurden die Versuche nach der im folgenden Abschnitt angegebenen Methode begonnen.

II. Methodik.

Es wurde die Wirkung vertikaler Schwingungen von annähernder Sinusform untersucht. Dafür stand ein Schütteltisch zur Verfügung, wie er von *Coermann* beschrieben wurde. Es handelt sich um einen modifizierten, elektrodynamisch arbeitenden Unterwasserschallsender nach *Fessenden*, der eine aufgeschraubte Sitzplatte in Vertikalschwingung versetzt. Seine maximale Leistungsaufnahme betrug etwa 1000 W. Durch Schwebungssummer und 1000 W-Verstärker wurden Frequenzen zwischen 20 und 1000 Hz erzeugt. Die maximale Amplitude betrug dabei für den Schütteltisch rund 2 mm, bei etwa 35 Hz. Diese Bereiche haben sich als die wirksamsten erwiesen. Die Amplitude der Versuchsanlage sinkt mit zunehmender Frequenz ab.

Ferner wurde ein Knochenleitungstelephon als Vibrator benutzt, das einen etwa 4 mm starken Metallstab in Schwingungen versetzt, der es ermöglicht, die Vibration auf sehr eng begrenzte Flächen einwirken zu lassen. Seine Leistungsaufnahme betrug etwa 15 W. Der wirksamste Frequenzbereich lag bei etwa 45 Hz mit einer Amplitude von 2—3 mm. Die Reflexe wurden meist nach der klinischen Methode mit Hilfe eines Reflexhammers ausgelöst. Bei Registrierung der Reflexbewegung des Unterschenkels bzw. des Fußes fanden automatische Reflexhämmer nach *Coermann* und nach *Strughold* Verwendung, die eine Einstellung der Schlagfrequenz und der Stärke des Schlages erlaubten. Zur elektrischen Reflexauslösung wurden versilberte Elektroden jeweils günstigster Form und Größe angewandt. Als Stromquelle standen für induktive und faradische Reizung ein Induktorium und ein *Hellige*-Chronaximeter zur Verfügung. Die Reflexausschläge der Extremitäten wurden auf einem Rußkymographion registriert. Für die Elektromyographie waren ein 10^6-fach-Gleichstromverstärker und ein Schleifenoszillograph mit einer Eigenfrequenz der arbeitenden Schleife von 2000 Hz in Gebrauch. Für kurze informatorische Versuche wurde ein automatischer Blutdruckschreiber benutzt, wie er von *Ruff* angegeben wurde. Hauttemperaturmessungen wurden mit Hilfe eines Thermoelementes aus Kupfer-Konstantan vorgenommen.

Die Versuchsergebnisse wurden an 5 männlichen Personen im Alter zwischen 20 und 30 Jahren gewonnen, die keine Anzeichen irgendwelcher Abnormitäten aufwiesen. Bei einer weiteren, 28jährigen Versuchsperson waren 1 Jahr zuvor die Rami communicantes des linksseitigen Lumbalsympathicus zur Therapie einer arteriogenen Gangrän zweier Zehenendglieder des linken Fußes durchtrennt worden. Sein Leiden hatte ein halbes Jahr zuvor ohne erkennbare Ursache mit anfallsweisen Schmerzen in den betreffenden Zehen begonnen. Durch die Operation war dann Heilung erreicht worden. Zur Zeit der Versuchsdurchführung allerdings befand er sich in internistischer Behandlung wegen erneuter Schmerzen und ähnlicher Verfärbung der betroffenen Zehen. Besonders quälend war es ihm, wenn das linke Bein aus seiner horizontalen in normale Lage gebracht wurde, wie etwa bei längerem Sitzen oder Stehen. Bei den Versuchen erwies er sich als aufgeschlossen und interessiert, in guter körperlicher Verfassung. Seine Reflexerregbarkeit war sehr lebhaft auch bei Reizung von gewöhnlich schwer oder gar nicht ansprechbaren Reflexen wie der Armbeuger oder Daumenstrecker. Links waren Patellarreflex und Achillesreflex etwas träger als rechts, entsprechend dem völligen oder doch weitgehenden Fehlen der sympathischen Innervation (vgl. bei *Magnus-Alsleben*). Er äußerte selbst über das Reflex-

empfinden: „rechts erschreckt man mehr". Links war anfangs ein Achillesklonus auslösbar. Der linke Unterschenkel war deutlich wärmer als der rechte und ohne Schweißdrüsenfunktion, die, wie er angab, rechts um so stärker sei. Zum Beweis zeigte er seine Sandalen, rechts mit dunkelbrauner und verbrauchter Innensohle, links hell und wie neu. Nach diesen Befunden ist die exakte Ausräumung des lumbalen Sympathicusgrenzstranges als einwandfrei gelungen zu bezeichnen.

Zur Ergänzung der am Menschen gefundenen Ergebnisse wurden Tierversuche an einer Katze vorgenommen, die weiblichen Geschlechts, in verhältnismäßig gepflegtem Zustand und schätzungsweise nicht älter als ein Jahr war. Die Untersuchungen wurden im Pernoctonschlaf (2 ccm Pernocton subcutan) mit einem geringen Zusatz von Äther durchgeführt. Dabei blieb die Reflexerregbarkeit während der ganzen Dauer des Versuches gut erhalten. Die Reflexprüfung am Menschen erstreckte sich auf die Untersuchung des Patellarreflexes, des Achillessehnen- und des Vorderarmperiost(Biceps-)-Reflexes.

Die Versuche wurden in der Weise vorgenommen, daß die Versuchsperson (Vp.) in lockerer Haltung und ohne Rückenlehne auf der Schüttelplatte saß. Bei Achilles- oder Patellarreflexkymographie wurde der entsprechend angeordnete Reflexhammer auf optimale Muskelzuckung einreguliert, dann das Kymo und endlich die Vibration eingeschaltet. Der Bicepsreflex wurde in möglichst gleichbleibender Weise von der Vp. selbst ausgelöst. Hier geschah der Reflexnachweis elektrokymographisch. Die subjektive Beeinflußbarkeit der Reflexe wurde besonders betrachtet. Einmal standen Personen mit der Fähigkeit scharfer Selbstkritik zur Verfügung, andererseits auch völlig uninteressierte, die nicht näher über die Vorgänge orientiert waren. Zudem konnten die Vp. durch Unterhaltung oder durch Lösung von Rechenaufgaben abgelenkt werden.

III. Versuchsergebnisse.

Die Versuche ergaben zunächst eine Bestätigung der Befunde von *Coermann*. Erschütterungswirkung hat Verminderung der Patellarreflexausschläge zur Folge. Das geschieht plötzlich innerhalb 2—3 Sek. bei starker Schwingung (etwa 30 Hz und 1 mm Amplitude) oder ganz allmählich bei schwacher Wirkung (etwa 50 Hz und 0,05 mm Amplitude). Je nach der Stärke der Einwirkung und ausgeprägter bei empfindlichen Personen kann es zu einer Nachwirkung für länger als eine Stunde kommen, andererseits kann der Reflex aber auch sofort beim Abschalten wieder seine volle Höhe erreichen. Auch wenn ein Bein allein genügend stark geschüttelt wird, zeigt sich sein Patellarreflex beeinflußt.

Die eigenen Versuche sind in der Reihenfolge ihrer Durchführung ungefähr chronologisch wiedergegeben. Sie zeigen das Bemühen, zunächst die einfacheren Erklärungsmöglichkeiten für den Reflexausfall heranzuziehen und experimentell zu stützen. Überraschenderweise stellte sich der Vorgang jedoch als Folge einer vegetativen Wirksamkeit der Schwingungen heraus. Die zugrunde liegenden Gedanken werden im folgenden Kapitel in entsprechender Reihenfolge diskutiert. Die Prüfung des Achillesreflexes ergab ein dem Patellarreflex analoges Verhalten (Abb. 1). Dieser Reflex erwies sich insofern als noch empfindlicher als er bei gleicher Vibration schon früher mit Verminderung bzw. Ausfall reagierte.

Die Bedeutung einer eventuellen Tonisierung der Patellarreflexmuskulatur wurde bei Willkürinnervation der Antagonisten untersucht, der Einfluß einer

eventuellen Erschlaffung durch Tonisierung des M. quadriceps ausgeschaltet. Entgegen einer Zugwirkung durch entsprechende Gewichte nach vorn bzw. hinten mußte der bei sitzender Vp. vertikal hängende Unterschenkel in dieser Stellung gehalten werden. Der Reflexausfall bei Schwingungsbeginn wurde dadurch nicht beeinflußt. Die elektromyographische Kontrolle der Aktionsströme ergab völlige Muskelruhe auch während der Schwingung. War durch Gewichtsbelastung die Tonisierung des Quadricepsmuskels willkürlich eingestellt, so zeigte sich bei Vibrationsbeginn in der Muskelaktionsstromkurve keine Veränderung der Oszillationen. Ermüdungsversuche bei mehrstündiger Reflexauslösung ohne mechanische Erschütterung der Vp. ergaben keine Reflex-

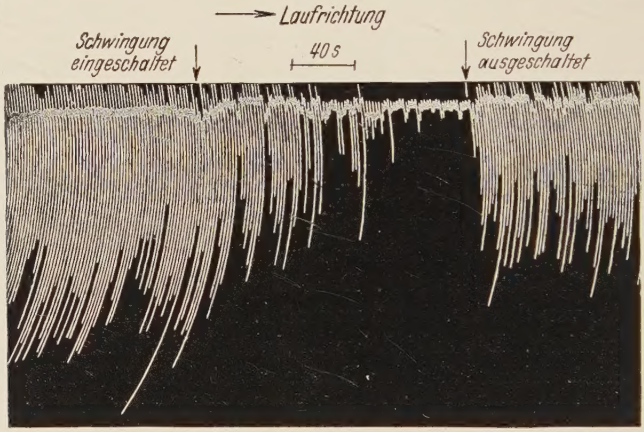

Abb. 1. Achillesreflex bei Vibration der Vp. auf der Schüttelplatte. Rußkymogramm der Plantarbewegungen des Fußes; mechanische Reflexauslösung alle 2 Sek.; Schwingungseinwirkung mit 100 Hz und 0,1 mm Amplitude.

verminderung. Danach konnte der Reflexausfall nur durch die Schwingung verursacht sein.

Durch elektrische Reflexauslösung wurden die sensiblen Endorgane und eine dort eventuell lokalisierte Störung überbrückt. Auch bei dieser Versuchsanordnung ging die reflektorische Muskelzuckung durch Vibration verloren. Dabei wurden Induktionsschläge auf den N. femoralis gesetzt, indem die differente Elektrode auf einen bestimmten Punkt der Fossa ovalis unterhalb des Leistenbandes wirkte. Den Angaben bei *Hoffmann* u. a. entsprechend konnte die indirekte Muskelzuckung an der Aufwärtsbewegung des Unterschenkels beobachtet werden, die reflektorische dagegen nur im Elektromyogramm (Abb. 2). Die Ableitelektroden in der Größe 3 × 5 cm waren dabei durch elektrolytgetränkte Binden auf dem M. quadriceps fixiert.

Durch Haltungsveränderungen der Vp. wurde dann versucht, die Reflexstörung zu lokalisieren. Im Stehen auf einem Bein wurden die Reflexe der anderen Extremität geprüft. Die Reaktion war wie bei der sitzenden Vp., und zwar ergab elastisches Stehen auf den Zehenspitzen langsamere und geringere Reflexverminderung als Stehen auf ganzer Sohle. Im Liegen wurden Achilles- und Patellarreflex nicht beeinflußt, wenn nur der Oberkörper geschüttelt wurde. Sie reagierten dagegen wie bei sitzender Vp., wenn die Beckengegend auf der Schüttelplatte ruhte, der Thorax auf einer festen Unterlage. Saß die Vp. bei genau gleicher Gewichtsverteilung teils auf dem Schütteltisch, teils auf einer

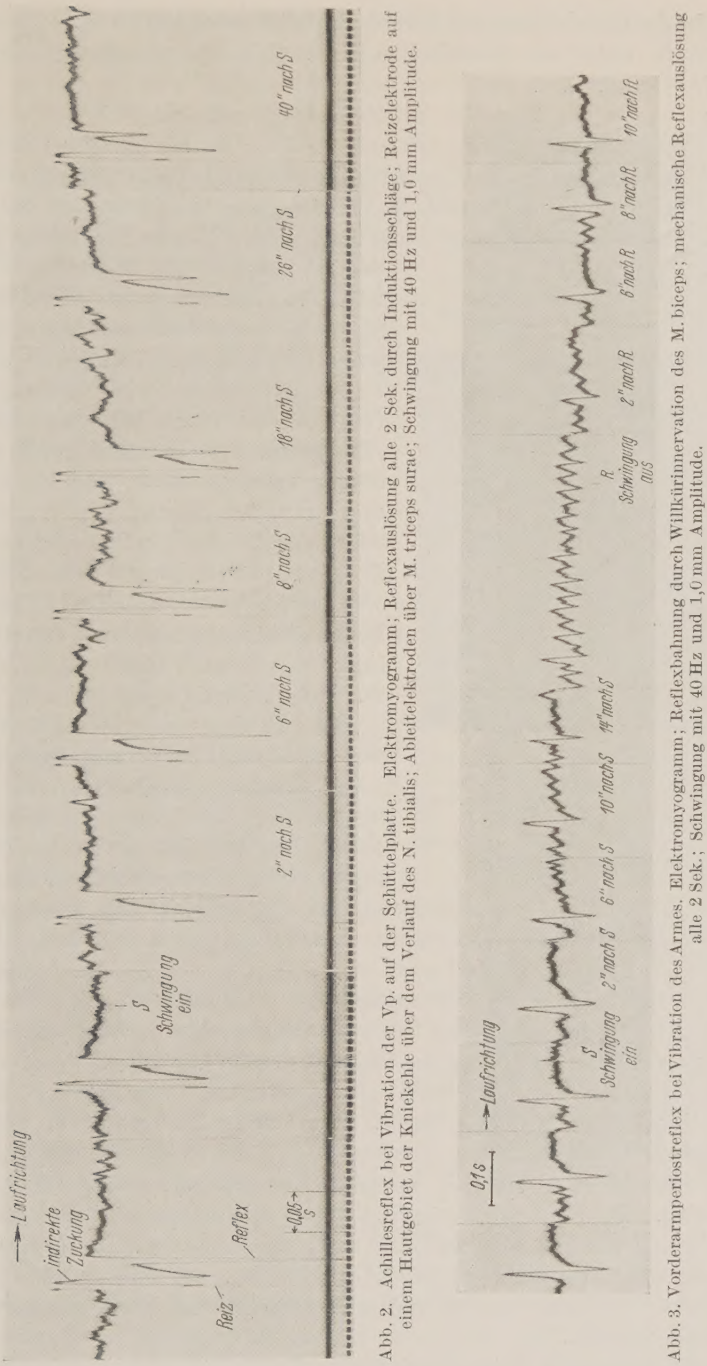

Abb. 2. Achillesreflex bei Vibration der Vp. auf der Schüttelplatte. Elektromyogramm; Reflexauslösung alle 2 Sek. durch Induktionsschläge; Reizelektrode auf einem Hautgebiet der Kniekehle über dem Verlauf des N. tibialis; Ableitelektroden über M. triceps surae; Schwingung mit 40 Hz und 1,0 mm Amplitude.

Abb. 3. Vorderarmperiostreflex bei Vibration des Armes. Elektromyogramm; Reflexbahnung durch Willkürinnervation des M. biceps; mechanische Reflexauslösung alle 2 Sek.; Schwingung mit 40 Hz und 1,0 mm Amplitude.

gleich hohen festen Fläche, so waren die Reflexe dieser Seite beinahe unbeeinflußt, während sie gleichzeitig auf der geschüttelten Seite verschwanden. Wurde der Oberarm geschüttelt, während er gleichzeitig bei seitlich liegender Vp. durch

das Gewicht des Oberkörpers auf die Schüttelplatte gepreßt wurde, so war elektromyographisch auch die Verminderung des Vorderarmperiost(Biceps)reflexes nachweisbar (Abb. 3).

Hierauf wurde ein Vibrator in Anwendung gebracht, der punktweise mit Erschütterungsstößen zu reizen erlaubte. Wirkte er auf beliebige Punkte der Bauchdecken bis hinauf zum Rippenbogen, so erfolgte schlagartig Reflexausfall in der Quadricepsmuskulatur und im Triceps surae (Achillesreflex) bei Schwingungsgrößen von etwa 35 Hz und 1 mm Amplitude. Ebenso wirkte die Vibration der Beckenknochen oder des Leistenbandes. Setzte man den Vibrator auf die Muskulatur des Patellarreflexes, so gab es keinerlei Reaktionen, hingegen sofortigen Reflexausfall, wenn wie zuvor unter leichtem Andrücken des Vibrators ein kleines Hautgebiet über *der* Linie durch die Fossa ovalis gereizt wurde, die dem Verlauf von Nerv, Arteria und Vena femoralis abwärts vom Leistenband entspricht (Abb. 4). Desgleichen verschwand der Achillesreflex, wenn der Vibrator auf eine Linie der Kniekehle wirkte, etwas lateral von der Mittellinie, die dem Verlauf von N. tibialis, A. und V. poplitea entspricht.

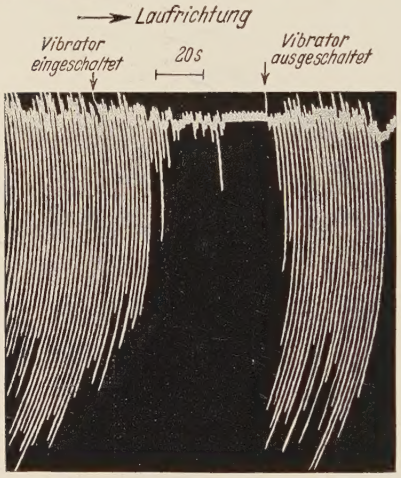

Abb. 4. Patellarreflex bei Vibratoreinwirkung auf ein Hautgebiet über der A. femoralis unterhalb des Leistenbandes. Rußkymogramm der Unterschenkelausschläge; mechanische Reflexauslösung alle 2 Sek.; Vibratorschwingung mit 100 Hz und 0,1 mm Amplitude.

Die Prüfung der Nervenleitfähigkeit auf eine eventuelle Leitungsblockierung an Hand der motorischen und sensiblen Qualitäten (Berührung, Schmerz, Temperatur, Kinästhesie) sowie der Chronaxie ergab völlige Unversehrtheit. Nach diesen Befunden mußte an eine tiefergreifende Schwingungswirkung gedacht werden.

Man findet, daß starke Vibrationen den Reflex sofort aufheben, schwächere ihn allmählich vermindern und ganz schwache ihn völlig unbeeinflußt lassen. Wie schnell und wieweit die Reflexausschläge vermindert werden, das ist außer von Frequenz und Amplitude der Schwingungen noch von der Dauer ihrer Einwirkung, von der Vp. und deren jeweiligem Zustand abhängig. Von den gleichen Faktoren wird es bestimmt, wieweit eine Reflexverminderung über die Dauer der Vibration hinaus bestehen bleibt. Regelmäßig beobachtet man als Nachwirkung, daß bei wiederholter Reizung mit gleichbleibender untermaximaler Vibration die zuerst allmählich bewirkte Reflexverminderung immer rascher erreicht wird. Die elektromyographisch aufgezeichneten Aktionspotentiale bestätigen diese Beobachtungen an Hand der Muskelzuckung. Die Refraktärphase (Gesamtphase) wurde nicht eingehend untersucht. In einigen Versuchen ging jedoch einer Verminderung der Reflexausschläge eine Verlängerung der Refraktärphase parallel.

Auf reflexbahnende Reize reagiert der durch Vibration geminderte Reflex wie normal. Der *Jendrassik*-Handgriff, bei dem die Vp. die Armmuskeln stark anspannt, bewirkt auch hier eine Reflexsteigerung, und selbst der völlig ausgebliebene Reflex kann anfangs dadurch für kurze Zeit wieder nachweisbar werden.

Durch starke Atemexkursionen wird eine vorübergehende Reflexsteigerung ebenso nachweisbar wie durch intravenöse Milchsäurezufuhr (2 mg) oder durch Nicotinreizung wie z. B. durch das Rauchen einer Zigarette. Auch die calorische Vestibularisreizung wirkt auf die verminderten Reflexe bahnend [1].

Einen überraschend starken Einfluß hat der Zustand der Harnblase, wenn der Organismus den Schwingungen der Schüttelplatte ausgesetzt wird [2]. Gleiche Vibration der gleichen Vp. gibt bei gefüllter Harnblase viel früheren Reflexausfall als bei entleerter. Miktion während des Versuches gibt eine deutliche Reflexsteigerung, die einige Minuten anhält (Abb. 5). Schüttelt man die Vp., während sie einen stramm sitzenden breiten Bauchgurt trägt und befreit sie dann während des Versuches davon, so gibt es eine analoge Reaktion.

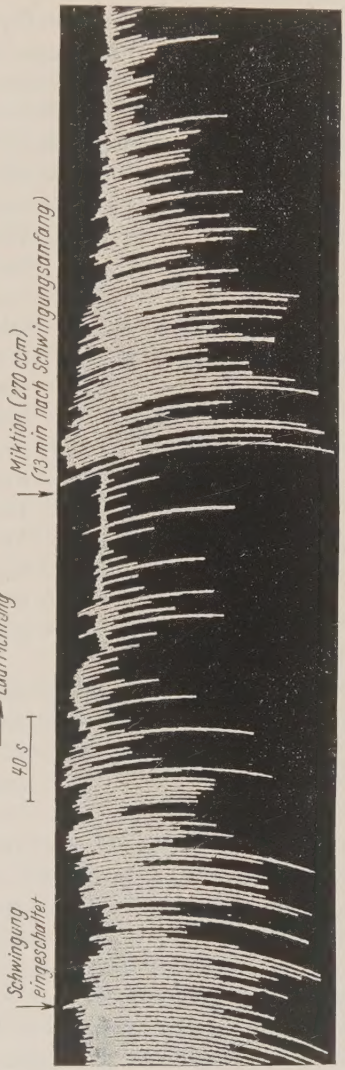

Abb. 5. Der Einfluß des Füllungszustandes der Harnblase auf den Patellarreflex unter Schwingungseinwirkung. Rußkymogramm und Reflexauslösung wie in Abb. 4; Schwingung der Schütteplatte mit 100 Hz und 0,1 mm Amplitude.

Die Untersuchungen an der Vp. mit einseitig exstirpiertem Lumbalsympathicus wurden in der gleichen Weise durchgeführt wie die bereits beschriebenen. Während das gesunde Bein wie angegeben reagierte, hatte die Vibratorreizung in Fossa ovalis und Kniekehle der sympathicuslosen Extremität auf beide Reflexe überhaupt keinen Einfluß. Lediglich wenn die ganze Vp. auf den Schütteltisch gesetzt wurde, gab es bei stärkster Schwingung eine geringe Reflexverminderung an der operierten Seite, während die Reflexe der gesunden Seite sofort ausblieben.

Am Versuchstier wurde die Fossa ovalis freigelegt. Im Pernoctonschlaf mit Zusatz von Äther wurde an der Katze der im Zusammenhang mit Arterie und Vene belassene Nerv durch ein daruntergeschobenes Stäbchen leicht emporgehoben (Abb. 6). Durch Vibratorerschütterung dieser Unterlage wurden Gefäße und Nerv gereizt und dadurch Patellarreflexverminderung hervorgerufen. Die verminderten Reflexausschläge waren deutlich wurmartiger, während ohne Vibration der Reflex schnellender und mehr blitzartig auf den Hammerschlag reagierte. Wirkte der Vibrator direkt auf die Arterie, so fiel der Reflex sofort ganz aus. Darauf wurden die Versuche in genau der gleichen Weise wiederholt, nachdem die Arterie auf etwa 3 cm beiderseits der Reizstelle von ihrer Adventitia befreit

[1] Vgl. *Strughold, Spychala, Hansen-Flick.*
[2] Vgl. *Dusser de Barenne.*

worden war. Jetzt gab auch stärkste direkte Vibration — weder der Gefäße noch des Nerven — praktisch keine Reflexbeeinflussung. Unabhängig davon gab es bei der Vibration der Beckenknochen Reflexbeeinflussung, dagegen blieb Reizung anderer Knochen sowie der Bauchdecken ohne Erfolg.

Über die subjektiven Beobachtungen der Versuchspersonen hat bereits *Coermann* berichtet. Die eigenen Befunde stimmen damit überein und werden hier nur bestätigend und ergänzend angedeutet. Die plötzlich beginnende Vibration löst bei der Vp. jene von Schreck und überhaupt von psychischer Erregung her bekannte Empfindung in der Tiefe der Magengegend aus, die wohl als vegetativ bedingte Entleerung des Milzblutspeichers angesehen werden muß (vgl. *Domarus*)[1]. Weiterhin wird bei der Vibration das Atembedürfnis in bemerkenswerter Weise gesteigert. Sofort stellt sich auch Unbehagen und ein gewisses Reizgefühl ein sowie eine Kontraktion der Muskulatur des Dammes und eine Spannung in den unteren Extremitäten, der aber keinerlei nachweisbare Muskelaktionsströme zugrunde liegen. Nach kurzer Zeit ist Gewöhnung eingetreten sowie ein Gefühl weitgehender Lockerung und Erschlaffung des ganzen Körpers. Wie weit gesteigerte Vitalität und Angeregtheit oder Schläfrigkeit und Apathie empfunden werden, das hängt von der Vp. und ihrem jeweiligen Zustand ab.

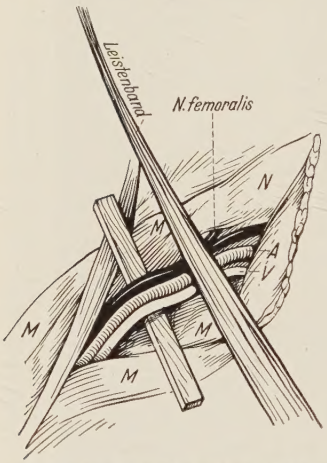

Abb. 6. Schwingungseinwirkung auf freigelegte Gefäße und Nerven im Tierversuch. Orientierungsskizze der Fossa ovalis an der Vorderfläche des Oberschenkels der Katze; der N. femoralis ist in Zusammenhang mit A. und V. femoralis belassen und durch ein Stäbchen leicht emporgehoben.

Beim Abschalten wird ein eigenartiges Entlastungsgefühl des Zusammensinkens empfunden, danach ein befreites Aufatmen, ohne daß die Schwingung zuvor besonders lästig oder unangenehm gewesen wäre. Die Reflexauslösung wird bei Beginn der Reflexverminderung als dumpf empfunden, der Reflexhammer scheint sein Gewicht zu verlieren. Beim Vibratoreffekt sind Schreckwirkung und Atemveränderung am deutlichsten, die übrigen Empfindungen weniger stark ausgeprägt. Bei automatischer Blutdruckregistrierung und bei Prüfung der Hauttemperatur an den unteren Extremitäten ergaben sich keine Veränderungen durch Vibration. Bei zwei Vp. war röntgenologisch ein Harnleiterstein im Ureterenostium nachgewiesen worden, der später operativ bzw. spontan ad oculos gelangte. Die Vibration dieser Männer im Alter von 45 bzw. 24 Jahren in sitzender Haltung auf der Schüttelplatte hatte auf Exacerbation einer Kolik oder Steinaustreibung keinen Einfluß.

IV. Diskussion.

Zu Beginn der Untersuchungen war über den Reflexausfall nur soviel bekannt, daß er durch die Erschütterungen des Organismus hervorgerufen werde. Den physiologischen Eigenschaften der Sehnenreflexe entsprechend wurde zunächst an eine Tonisierung der Reflexmuskulatur gedacht, zumal ja die Versuchspersonen ein gewisses Spannungsgefühl in den Extremitäten angaben und auch

[1] Nach *Höber* kann die Milzverkleinerung des geängstigten Tieres am Röntgenschirm verfolgt werden.

ein wenigstens anfangs erhöhter Energieverbrauch nach den Stoffwechseluntersuchungen von *Müller* und *Cormann* darauf schließen ließ. Dem Einwand entsprechend, wie zunehmende Reflexverminderung mit gleichzeitig fortschreitender allgemeiner Erschlaffung und Normalisierung der Stoffwechselvorgänge während dieses Versuches zu vereinbaren sei, sind denn auch die hierzu angestellten Versuche negativ verlaufen.

Die Versuche über Ermüdung des Reflexbogens versprachen um so weniger Erfolg, als *Hoffmann* und neuerdings *Sommer* auch bei mehrtausendfacher Reflexauslösung keine Beeinflussung gefunden hatte. Zudem war der schlagartige Reflexausfall bei starker Erschütterung nicht mit den gewöhnlichen Vorstellungen über Ermüdung zu erklären. Zu den Vorstellungen über eine Anämie der betroffenen Extremität und Reflexverminderung hatte bereits *Spychala* nachgewiesen, daß Abklemmung der Bauchaorta auf den Patellarreflex zunächst ohne Einfluß bleibe.

Nachdem diese ersten Überlegungen ergebnislos blieben, mußte eine tiefergreifende Wirksamkeit der Schwingungen erwogen werden. Welche Vorstellungen über Reflexhemmung waren weiter bekannt und wo konnte der Sitz der Störung angenommen werden? Für die Lokalisation der Störung kamen die motorischen und sensiblen Endorgane in Frage, afferente und zentrifugale Nervenleitung sowie die Synapse im Rückenmark und das Reflexzentrum selbst. Da die sensiblen und motorischen Funktionen subjektiv unverändert schienen, lag die Annahme am nächsten, es könne sich um eine Störung in den Reflexreceptoren handeln. Allerdings ergab die Prüfung des Kraftsinnes, der ja zu den sensiblen Endorganen in Beziehung stehen soll (*Hoffmann* u. a.), keinen Anhalt für eine Störung. Das tatsächliche Nichtbeteiligtsein der Endorgane wurde elektromyographisch bewiesen.

Die Ergebnisse der Versuche mit dem Vibrator zeigten gewisse Parallelen zu alten Versuchen über mechanische Nervenreizung, die schon von *Bernstein* und *Tigerstedt*, zuletzt wohl von *Schmitz* und *Wiebe* studiert wurden. Setzt man nämlich unter möglichster Schonung des Nerven rhythmisch mechanische Nervenreize am Nervmuskelpräparat (auch am lebenden), so gibt es am Muskel einen Tetanus. An der gereizten Nervenstelle wird die Leitfähigkeit noch für einige Zeit nach dem Versuch gestört, während der Nerv jedoch ganz normal einer Reizung gegenüber reagiert, die ihn weiter peripher trifft.

Die Anwendung dieser Befunde auf die vorliegende Frage lag nahe. Mindestens konnte man im Falle des Vibratoreffektes in Fossa ovalis und Kniekehle an eine direkte Nervenreizung denken. Demnach wäre der Reflexausfall durch eine Blockierung der Nervenleitfähigkeit bedingt gewesen. Die Ähnlichkeit der eigenen Befunde mit denen der genannten Autoren war überraschend. Jedoch ergab die Prüfung der motorischen und sensiblen Leitungsfunktionen sowie der Chronaxie des motorischen Nerven die Abwegigkeit dieser Vorstellungen. Die Möglichkeit einer direkten mechanischen Beeinflussung des Rückenmarkes war durch den Vibratoreffekt an Bauchdecken und Extremitäten bereits ausgeschaltet. Zur Erklärung des Reflexausfalles blieben nun noch Vorstellungen übrig, die man sich über eine Beeinflussung des Reflexzentrums machen konnte oder über eine unbekannte Funktion, die den sympathischen Anteilen des peripheren Nerven dabei zukäme. Nach *Höber* sind solche Fasern von *Boeke*, *Häggqvist* und *Perroncito* anatomisch, von *Orbeli* (nach *Brücke*) und *Claude Bernard*, *Ken Kuré*, *Schäfer* (nach *Magnus-Alsleben*) u. a. funktionell nachgewiesen.

Bei Berücksichtigung des allgemeinen Verhaltens der Reflexe wurden Hinweise auf den Einfluß des vegetativen Nervensystems gewonnen. Von besonderer Bedeutung schienen in dieser Hinsicht die Beziehungen zwischen Harnblase und Reflexhemmung. Auch der Klopfversuch nach *Goltz* fand hier Beachtung als eine dem Vibratoreffekt ähnliche Erscheinung. Nach *Höber* handelt es sich dabei um einen Reflex, der, durch mechanische Reizung der Baucheingeweide ausgelöst, über N. splanchnicus, sympathischen Grenzstrang und Rückenmark auf den Ursprungskern des Vagus in der Medulla oblongata wirkt.

Die Sehnenreflexabhängigkeit vom Sympathicus war nach diesen Versuchen unverkennbar. Solche Vorstellungen waren noch 1934 von *Hoffmann* als „problematisch" behandelt worden. Den Beweis für diesen Zusammenhang erbrachten jedoch die hier mitgeteilten Beobachtungen an der einseitig sympathektomierten Vp. Es war also anzunehmen, daß die Vibration sympathisch innervierter Gewebe, besonders also auch der Blutgefäße, das entscheidende Moment darstellte. Wurden ja doch beim Vibratoreffekt in Fossa ovalis und Kniekehle in gleicher Weise Nerven und parallel verlaufende Blutgefäße erschüttert. Überraschend klar konnte der Beweis im Tierversuch erbracht werden. Allein die Vibration der unversehrten Arterie verursachte Reflexausfall, während nach Lösung der sympathischen Gefäßnerven (Operation von *Leriche*) die Erschütterungen weder am operierten Gefäßsegment noch am Nerven eine Veränderung bewirkten. Damit ist zugleich die Beteiligung einer parasympathischen Beeinflussung eindeutig ausgeschlossen. Ähnliches ist bei *Spychala* beschrieben, wonach durch Druck auf den Sinus caroticus Bewegungen und Sehnenreflexe des Versuchstieres gehemmt werden, wodurch allein der Tonus des Sympathicus anhaltend vermindert, der Parasympathicus nicht beeinflußt wird.

Bemerkenswert ist hier auch die verhältnismäßig segmentale Wirksamkeit der Reizung vegetativer Organe. Wird doch der Vorderarmperiostreflex erst bei massiver Erschütterung des Armes selbst beeinflußt. Und auch von der Harnblase mit ihrer wesentlich lumbalen Sympathicusinnervation geht nur auf die regionalen Sehnenreflexe der unteren Extremität eine Wirkung aus. Andererseits genügt die Erschütterung ein und desselben Schenkelgefäßes (A. femoralis am Leistenband, A. poplitea in der Kniekehle), um auf verschiedene Reflexzentren zu wirken (Patellarreflex im zweiten Lumbalsegment, Achillesreflex im ersten Sacralsegment des Rückenmarkes). Nach den Versuchen ist anzunehmen, daß die Lagerung der Blutgefäße des Organismus hervorragend gut gedämpft ist, da bei einer allgemeinen Körperdämpfung, die bei den hier diskutierten Bedingungen noch etwa 50% der Schwingungsamplitude auf den Schädel überträgt (vgl. *Coermann*), keine Wirkung durch Knochenübertragung am Arm erzielt wird.

Die tatsächlich vegetative Wirksamkeit der Schwingungen erhellt auch aus den allgemeinen Beobachtungen. So sind die subjektiven Empfindungen beim Einschalten ähnlich dem Schreck etwa bei Kaltwasserübergießung. Das Spannungsgefühl zu Beginn, die Stoffwechselsteigerung, die Wirkung auf Vitalität und Befinden und hier gerade die wechselnde Wirksamkeit *(Coermann)* sind weitere Hinweise. Zu beachten ist dabei die äußerst geringe Wirkung auf Puls und Blutdruck, die *Coermann* nur an wenigen Vp. und bei starker Schwingung beobachtete. *Müllers* Angaben über Temperaturabfall bis zu 2—4° C bei mechanischer Erschütterung des Menschen in etwa 5 Hz und 1,5 cm Amplitude konnten in den betreffenden eigenen wenigen Versuchen nicht bestätigt werden. Das mag in der etwa 10mal geringeren Schwingungsamplitude seine Erklärung

finden. Nach *Ipsen* (zit. bei *Aroutiounov*) ist ja die Hauttemperatur ein Indicator für Gefäßweite und Blutströmungsgeschwindigkeit im gegebenen Gebiet. — In diesem Zusammenhang mag eine Erklärung des Reflexausfalles darin gegeben werden, daß vielleicht bei mechanisch gereizten Gefäßen vermehrt sympathische Energie zur Aufrechterhaltung von Gefäßtonus und Blutversorgung benötigt wird. Diese Energie würde dem Reflexzentrum entzogen und somit nur die akut weniger lebenswichtige Organfunktion gestört. Diese Kompensationsfähigkeit des Organismus würde dann bei genügend starken Erschütterungsreizen erschöpft. Bezeichnend ist die mechanische Ansprechbarkeit allein der sympathischen Erfolgsorgane (glatte Muskulatur) und nicht der sympathischen Nervenfasern selbst.

Vielleicht sind auch die Stoffwechselveränderungen ein Ausdruck für erhöhten Energiebedarf im vegetativen Geschehen; denn außer der subjektiv deutlich wahrnehmbaren Kontraktion im Gebiet der Dammuskulatur sind ja an einzelnen Extremitätenmuskeln keine Aktionsströme durch die Schwingungen hervorgerufen worden. Unter Umständen spielt jene viel diskutierte „tonische Funktion" der peripheren Sympathicusanteile eine Rolle, die ja ohne Aktionsströme einhergehen soll und hier geeignet wäre, das subjektive Spannungsgefühl in den Extremitäten wie im ganzen Körper zu erklären. Auf die zunächst ja mehr hypothetischen Vorstellungen über vegetative Steuerung des Reflexvorganges in der Synapse, über Reflexenergie (vgl. *Hoffmann*), Refraktärphase, Bahnung und Hemmung näher einzugehen, würde an dieser Stelle zu weit führen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit dürften in mehrfacher Hinsicht nicht unwichtig sein. Die modernen Anschauungen bei *Höber*, *Koch* u. a. von der „Ubiquität der vegetativen Innervation" *(Brücke)* erfahren eine neue Bestätigung in der Tatsache, daß auch der „animale" Sehnenreflexe als sympathisches Erfolgsorgan funktioniert. Bei der Lehre vom Sehnenreflex kann der Einfluß des Sympathicus nicht länger außer acht bleiben. Ist dieser Zusammenhang erwiesen, so wird auch der unwillkürliche „autonome" Reflexcharakter verständlich, ganz entsprechend der Physiologie anderer vegetativ gesteuerter Lebensvorgänge. Gemäß der „ergotropen" Sympathicusfunktion, die ja eine Disposition zu erhöhter Leistung schafft (*Cannon*, *W. R. Heß* nach *Höber*), liegt auch die praktische Bedeutung des Sehnenreflexes in einer Zusammenfassung und Steigerung der Muskelkraft. Diese Wirkung ist schon normalerweise von Bedeutung *(Schwartz, Guilleaume* nach *Hoffmann)*, sie kann besonders bei Sportleistungen eine Rolle spielen *(Flick, Traum)* und sogar zu Patellarfrakturen und Quadricepsrissen führen.

Da jede motorische Innervation einen normalen „Muskeltonus" zur Voraussetzung hat (*Lucke* u. a.) und da dieser Tonus peripher entsteht, also ebenfalls reflektorisch funktioniert *(Sherrington, Hoffmann)* und vegetativ gesteuert ist, ergeben sich für die Vorstellungen vom Geschehen an der Vorderhornganglienzelle überhaupt einheitliche Gesichtspunkte, auf die in einer besonderen Arbeit einzugehen sein wird. Ferner wird die physiologische Wirkung von Schwingungen einer zusammenfassenden Betrachtung würdig sein, ein Gebiet, das mehrfach von Praktikern, von Anhängern der Vibrationsmassage und zuletzt auch von Technikern behandelt wurde, wobei häufig die Kargheit der objektiven Befunde durch subjektive Angaben und gewagte Kombinationen ersetzt wurde und recht diffuse Vorstellungen resultieren.

Vor allem aber ist die hygienische Seite der Schwingungswirkung von Bedeutung. Ist es möglich, daß von den Arbeitsbedingungen bestimmter Berufe

oder gar von den mechanischen Erschütterungen des täglichen Lebens schädliche oder eventuell krankheitsauslösende Wirkungen ausgehen? Die Vibrationskrankheit bei jahrelanger Arbeit mit stark erschütterten Geräten wie Preßlufthämmern (*Koelsch, Bürkle de la Camp* u. a.), die öfters ventilierte Frage des Ulcus pepticum in Zusammenhang mit Motor- und Lokomotiverschütterungen (z. B. *Marulli* u. a.), bei der Wundheilung an fortlaufend vibrierten Ratten und Mäusen, das sind nur Andeutungen der möglichen Beziehungen, die durch den Nachweis einer vegetativen Schwingungswirksamkeit erhöhte Bedeutung gewinnen.

Die technisch wichtigste Frage, ob Frequenzänderung von gleichem Einfluß ist, wie Amplitudenveränderung und welches überhaupt die schädlichsten und welches die weniger wirksamen Schwingungsbedingungen sind, auch das sind Dinge, die nun vielleicht geklärt werden, nachdem sie bisher meist am Fehlen objektiver Körperreaktionen gescheitert sind.

V. Zusammenfassung.

Mechanische Erschütterungen einer Schüttelplatte und eines Vibrators wirkten auf den ganzen Organismus bzw. einzelne Punkte seiner Oberfläche an Mensch und Tier. Der dabei von *Coermann* beobachtete Ausfall des Patellarreflexes erwies sich als Folge einer vegetativen Wirksamkeit von Schwingungen, und zwar bewirkte die Vibration von Blutgefäßen und anderen Organen der glatten Muskulatur eine regionale Veränderung des normalen Sympathicustonus, was sich besonders am Sehnenreflexzentrum äußert. Die Untersuchungen beziehen sich auf Patellar-, Achilles- und Vorderarmperiost(Biceps)reflex. Grad und Geschwindigkeit der Reflexverminderung sind abhängig von Frequenz, Amplitude und Dauer der Vibration sowie von der Vp. und ihrem jeweiligen Zustand. Ein besonderer Einfluß des Füllungszustandes der Harnblase wird beschrieben. Die Bedeutung der Ergebnisse wird in folgenden Beziehungen gesehen:

1. Neue Gesichtspunkte für die Lehre vom Sehnenreflex und vom vegetativen Nervensystem.

2. Klarere Deutung der physiologischen Wirkung von mechanischen Erschütterungen.

3. Beachtung eventueller krankheitsauslösender Schwingungswirkungen.

4. Bedeutung bei Erforschung der technisch entscheidenden Faktoren einer schädlichen Schwingung.

Literatur.

Arowtiownov, A. bei *G. Kingisepp:* Z. org. Chir. **93**, 386 (1939). — *Böhme, A.: Abderhaldens* Handbuch der physiologischen Arbeitsmethoden, Bd. 5, H. 5, S. 619 (1928). — *Boeke-Dusser de Barenne:* Proc. Akad. Wetensch. Amsterd. **21**, 1227, 1231 (1919). — *Brücke, E. Th.:* Naturwiss. **16**, 923 (1928). — *Bürkle de la Camp, H.:* Med. Welt **1937 II**, 1348. — *Coermann, R.:* Luftfahrtmed. **4**, 73 (1940). — *Domarus, A. v.:* Grundriß der inneren Medizin, 1940. — *Dusser de Barenne-Ward:* Amer. J. Physiol. **120**, 340 (1937). — *Giovannini, S.:* Difesa Soc. **1**, 23 (1936). — *Häggqvist, G.:* Z. mikrosk.-anat. Forsch. **43**, 507 (1938). — *Hansen-Flick:* Dtsch. Z. Nervenheilk. **96**, 185 (1927). — *Höber, R.:* Lehrbuch der Physiologie, 1939. — *Hoffmann, P.:* Erg. Physiol. **36**, 15 (1934). — *Koch, E.:* Luftfahrtmed. Abh. **1**, 215 (1936/37). — *Koelsch, F.:* Handbuch der Berufskrankheiten, Bd. II, S. 677. 1937. — *Lucke, H.:* Grundzüge der pathologischen Physiologie, 1939. — *Magnus-Alsleben:* Klin. Wschr. **1928 I**, 737. — *Marulli, A.:* Giorn. Med. mil. **85**, 125 (1937). — *Monrad-Krohn:* Norsk Mag. Laegevidensk. **7**, 80 (1919). — *Müller, E. A.:* Arb.physiol. **10**, 159 (1939). — *Ruff, S.:* Luftfahrtmed. **2**, 259 (1938). — *Schmitz-Wiebe:* Pflügers Arch. **240**, 289 (1938). — *Snow, M. L. H. A.:* Mechanical Vibration, p. 331. 1912. — *Sommer:* Luftfahrtmed. **4**, H. 4 (1940). — *Spychala, V.:* Z. exper. Med. **83**, 192 (1932). — Verh. Ges. Kreislaufforsch., 6. Tagg **1933**, 140. — *Strughold, H.:* T. Biol., N. F. **85**, 67, 453 (1927). — *Sueda, M.:* Mitt. med. Akad. Kioto **24**, 1170 (1938). — *Tigerstedt, R.:* Acta Soc. Sci. fenn. Helsingfors **11**, 569 (1880).

Lebenslauf.

Am 4. Mai 1916 wurde ich, *Werner E. Loeckle*, als Sohn des kaufmännischen Angestellten Wilhelm Loeckle und seiner Ehefrau Elisabeth, geb. Hecker, in Ludwigshafen am Rhein geboren.

Das Abiturium bestand ich nach dreijährigem Grundschulbesuch und nach neunjährigem Aufenthalt am König - Friedrich - Realgymnasium in Berlin-Friedrichshagen. Nach zehn Semestern medizinischen Studiums an der Friedrich-Wilhelms-Universität bestand ich am 17. September 1940 das Staatsexamen in Berlin.